



TOPOLOJİK NESNELERİN FDM (ERGİYİK BİRİKTİREK MODELLEME) YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ: KLEIN ŞİŞESİ ÖRNEĞİ

Seher DEMİR^{1*}, Hüseyin Kürşad SEZER¹, Veysel ÖZDEMİR¹

¹Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

*Sorumlu Yazar: seherdemir@gmail.com

ÖZET

Görselleştirme her zaman matematiğin zihinde canlandırılmasında önemli bir bileşen olmuştur. Soyut yapısından dolayı zor anlaşılabilir matematik; çakıl taşları, abaküsler, grafikler, diyagramlar ve çeşitli geometrik şekil ya da modeller yardımı ile yıllar boyunca daha anlaşılır hale getirilmek istenmiştir. Bu yardımcı elemanlar ile insan, dış dünya ile soyut kavramlar arasında ilişki kurabilmektedir. Cebirsel yapıların geometrik ifadelerle sunulması, öğrencilere bir fiziksel modelden hareketle mantiki teoremin nasıl kurulduğunu göstermeye yardımcı olmaktadır. 3 Boyutlu (3B) Baskı Teknolojisi, matematiğin ispatlarını görselleştirmeye yardımcı olan yeni bir yöntem olarak görülmektedir. Bu teknoloji normal üretim yöntemleriyle üretilmeyecek topolojik nesnelere şimdiye kadar olduğundan daha erişilebilir olmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, 3B baskı teknolojilerinden FDM yöntemi incelenmiş ve topoloji hakkında genel bilgiler ile birlikte örnek bir çalışma olarak Klein Şişesinin bu yöntemle üretim süreçlerinde karşılaşılan duruma özel problemler ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: FDM, Ergiyik Biriktirme Modelleme, Klein Şişesi, Topoloji

PRODUCTION OF TOPOLOGICAL OBJECTS BY FDM METHOD: CASE OF KLEIN BOTTLE

ABSTRACT

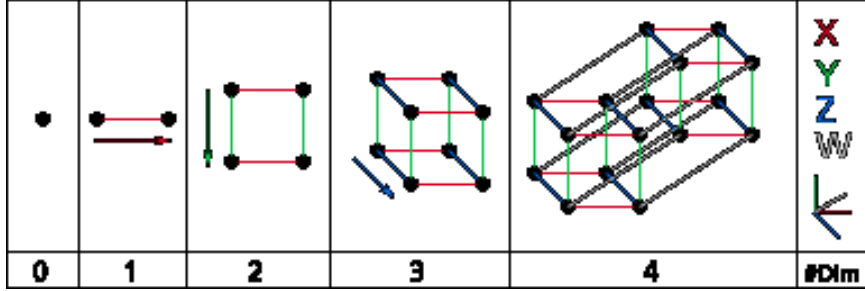
Visualization has always been an important component in the mentalization of mathematics. Mathematics that is difficult to understand because of its abstract nature; pebbles, abacus, graphs, diagrams and various geometric shapes and patterns to become apparent over the years with the help has been requested. Human with this helpers can establish a relationship between abstract concepts with the outside world. The presentation of algebraic structures as geometric expressions helps students demonstrate how logic theory is constructed by moving from a physical model. 3D Print Technology is seen as a new way of helping to visualize the proofs of mathematics. This technology ensures that topological objects that can not be produced by normal production methods are more accessible than they are up to now. In this study, FDM method of 3D printing technologies is examined, general information about topology is given and as an example study, problems specific to the situation encountered in production process of Klein bottles are discussed.

Keywords: FDM, Fused Deposition Modeling, Klein Bottle, Topology

1. GİRİŞ

Geleneksel metotlarla yapılan üretimlerde parçanın içini boşaltma, yüzey işleme, delik delme gibi işlemler tek tek yapılmaktayken, hızlı prototipleme yöntemleri ile doğrudan CAD verisinden ürünler elde etmek mümkündür. HP teknikleri ile geleneksel metotlarla erişmenin mümkün olmadığı karmaşık geometrilerin ve organik/anatomik yüzeylerin üretilmesi nedeniyle bu tekniklerin popülerliği ve kullanımı git gide artmaktadır. 3 Boyutlu Baskı Teknolojisinin geleneksel üretim yöntemlerinden (malzeme çıkararak üretim) farklı olarak malzeme ekleyerek imalat yapması üretilen modellerin

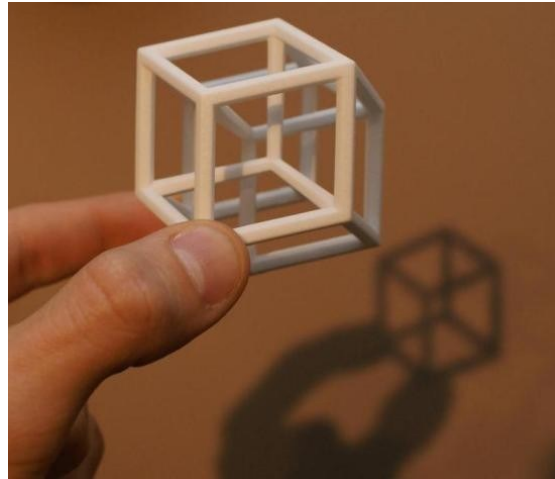
tasarımında büyük bir özgürlük yaratmıştır. Geleneksel üretim yöntemleri ile üretilmeyen kompleks yapılar, bilgisayarda modellenip, stl dosyasına çevirilerek 3B yazıcılardan kolaylıkla çıkarılabilmektedir. 3B baskı teknolojisinin sağladığı bu olanak ile soyut yapısından dolayı anlaşılması güç olan matematiksel ifadeler görselleştirilebilir. Özellikle 3 boyut ve üzerindeki geometrik yapılar bu yöntem ile basılarak algılanabilir hale getirilmektedir.



Şekil 1. Boyut kavramının şematik açıklanması - soldan sağa noktadan (0) tetraküpe (4) temsili gösterimler[1].

Boyut kavramına kısaca değinmek gerekirse; bir cismin herhangi bir yöndeki uzantısı olarak tanımlanabilir. Şekil 1’de boyut kavramının şematik olarak açıklanması gösterilmiştir [2]. Nokta sıfır boyutlu ya da boyutsuz olarak kabul edilir. İki farklı nokta birleştirilirse bir çizgi elde edilir. Çizgi sadece uzunluk içerdiği için 1 boyutludur. Aynı uzunluktaki iki çizginin uç noktalarından birleştirilmesi ile bir kare ya da dikdörtgen elde edilir. Bu şekil en ve boy içerdiği için 2 boyutludur. Yine aynı şekilde iki özdeş karenin köşeleri birleştirilerek bir küp elde edilebilir. Küp en, boy ve derinlik içerdiği için 3 boyutludur. Yapılan işlem tekrarlanarak 4 boyutlu bir nesne olan tetraküp elde etmek mümkündür. Tetraküp, teorik olarak bakıldığında bütün kenarları arasındaki açı 90 derece olan, bütün ayrıtları ve yüzey alanları eşit olan, bir köşesinden birbirine dik dört ayrıtlın çıktığı, dört boyutlu küpe verilen isimdir [3].

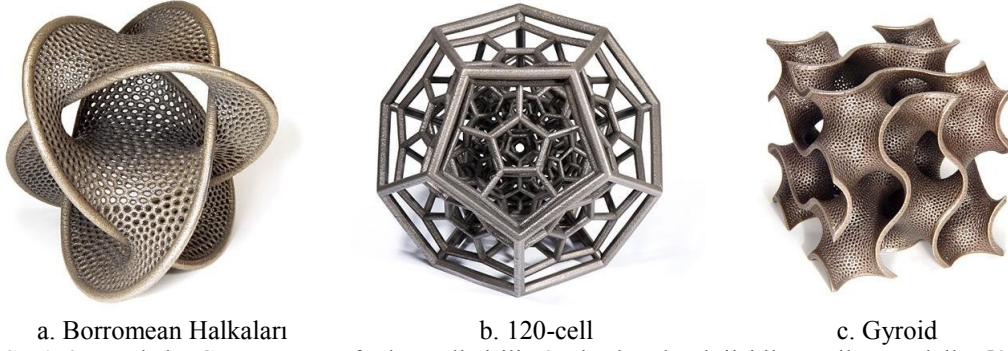
En çok 3 boyutu algılayabilen insan beyni için bir tetraküpü hayal etmek çok zordur. 3 boyuta sahip bir küpün 2 boyutlu kağıda çizilmesi gibi, 4 boyutlu olan tetraküp de 3 boyutlu baskı teknolojisi ile 3 boyuta indirgenebilir. Böylelikle hayal gücünün sınırlarını zorlayan şekiller daha anlaşılır kılınmaktadır. Şekil 2’de 4 boyutlu tetraküpün 3 boyuta yansımaları bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2. Tetraküpün 3 boyuta yansımaları [4].

4 boyutlu geometrik şekiller üzerine çalışan Bathsheba Grossman, malzeme seçiminde ağırlıklı olarak metali tercih etmektedir. Şekil 3’de Grossman’a ait çalışmalardan örnekler yer almaktadır. Solda Borromean halkaları bulunmaktadır. Bu halkaların özelliği, birbiriyle kesişim halinde olan 3 halkadan birinin çıkarılması durumunda diğer ikisinin de birbirinden ayrılmasıdır. Grossman bu halkaları bir yüzeye örerek Şekil 3.a’daki geometrik modeli oluşturmuştur [5]. Şekil 3.b’de 120-cell dodekahedranın (düzgün onikiyüzlü) 4 boyuta uyarlanmış hali görülmektedir. Merkeze doğru küçülüyormuş gibi

görünmesine rağmen 120 adet özdeş beşgenlerden oluşmaktadır [6]. Ünlü fizikçi Alan Schoen'in NASA'da çalıştığı yıllarda keşfettiği Şekil 3.c'de gösterilen Gyroid, Grossman tarafından geliştirilip 3B baskı teknolojisi ile üretilen modellerden bir diğeridir [7].



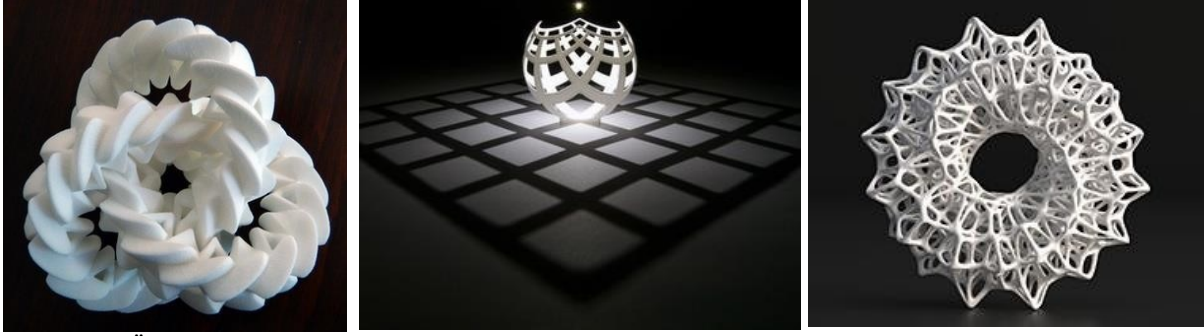
Şekil 3. Batsheba Grossman tarafından geliştirilip 3B baskı teknolojisi ile üretilen modeller [8].

Mathematical Intelligencer dergisinde yayılan çalışmasında George Hart, ev tipi 3B baskı makineleri ile kendi evimizde kendi matematik müzemizi nasıl oluşturabileceğimize dair örnekler sunmuştur [9]. Bu örnekler ağırlıklı olarak 4 Boyutlu karmaşık geometrilerin 3 boyuttaki gölgeleri üzerinedir. Şekil- 4.a'da gösterilen heykelsi form, kimyacı A.F.Wells 'in Kimyadaki Üçüncü Boyut kitabında tanımlanan kristal yapı temel alınarak tasarlanmıştır[10]. Şekil-4b'de iki katmanlı bir jeodezik küre görülmektedir. Bu kürenin dış kısmı 260 üçgenden meydana gelirken iç kısım 120 altıgenden oluşmaktadır. Bağlantılar ise beşgen parçalar olup 12 adettir[11]. Şekil-4c'de ise fraktal yapıya sahip Sierpinski üçgeninin üç boyuta uyarlanmış hali görülmektedir[12].



Şekil 4. George Hart tarafından geliştirilip 3B baskı teknolojisi ile üretilen modeller [13].

Şekil 5.a'da "Matematiksel Görselleştirme için 3 Boyutlu Baskı" isimli kitapta düğümler başlığı altında incelenen topolojik bir düğüm yer almaktadır. Segerman'ın küresel yapıdaki modeline ışık tutarak oluşturduğu izdüşüm Şekil 5.b'de verilmiştir. Şekil 5.c'de ise Möbius şeridinin parametrik tasarımı görülmektedir.



a. Üçlü dişli

b. Stereografik izdüşüm

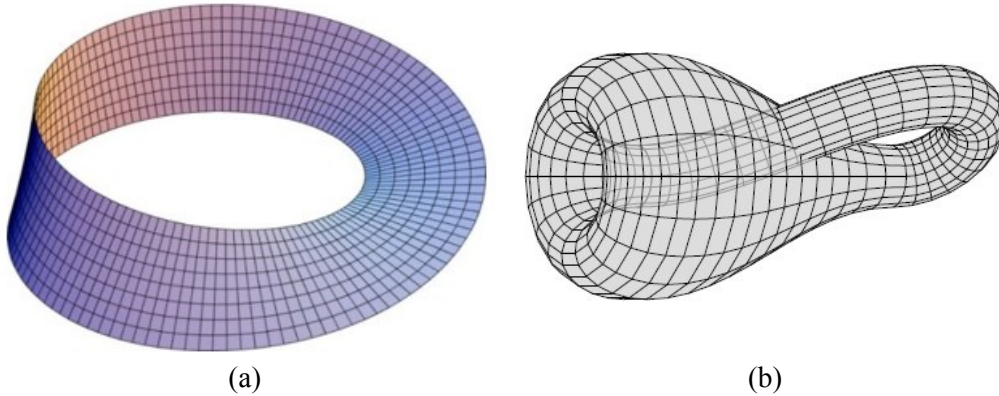
c. Möbius şeridi

Şekil 5. Henry Segerman tarafından geliştirilip 3B baskı teknolojisi ile üretilen modeller [15].

2. TOPOLOJİ KAVRAMI

Topoloji, eski Yunanca 'da yüzey veya uzay anlamına gelen “topos” ve “bilim” anlamına gelen “logos” kelimelerinden türetilmiştir. Dolayısıyla topoloji uzaylar veya yüzeyler bilimidir. Topoloji, matematiğin bir dalı olarak 19. yüzyılın sonlarında ünlü Fransız matematikçi Henri Poincaré'nin (1854–1912) çalışmaları ile sistematik oluşumuna başlamıştır [16]. Poincaré, “Topoloji, geometrik şekillerin, sadece alışılmış uzayda değil, üçten fazla boyutlu uzaylarda da niteliklerini öğrenmemizi sağlayan bir bilimdir.” demiştir. Topolojik geometride amaç, nesnelere yırtmadan ve koparmadan, eğip bükerek bir başka nesneye dönüştürebilmektir [16].

Topolojik nesnelere en bilineni August Ferdinand Möbius tarafından tanımlanan Möbius Şerididir. Uzunca bir şeridin bir ucunu 180 derece bükerek diğer ucu ile birleştirilmesiyle elde edilen tek yüzlü tek kenarlı şerittir. Tek yüzü olduğu için Möbius şeridinin üzerindeki bir noktadan hareket etmeye başladığında bütün alan taranarak aynı noktaya geri dönlür.

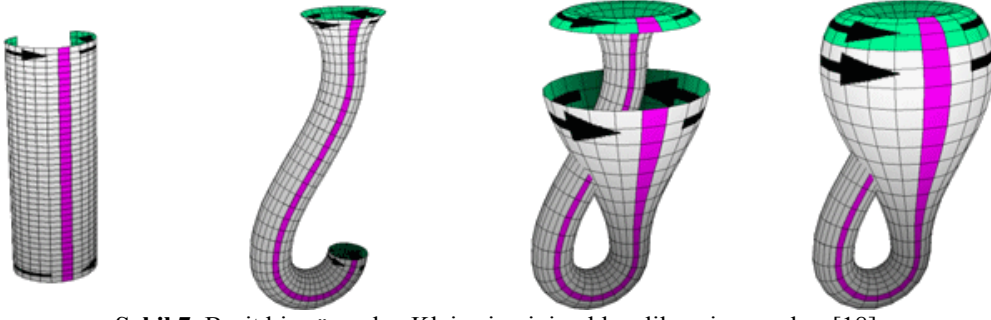


(a)

(b)

Şekil 6. Topolojik Nesne Örnekleri a) Möbius şeridi b) Klein şişesi [17].

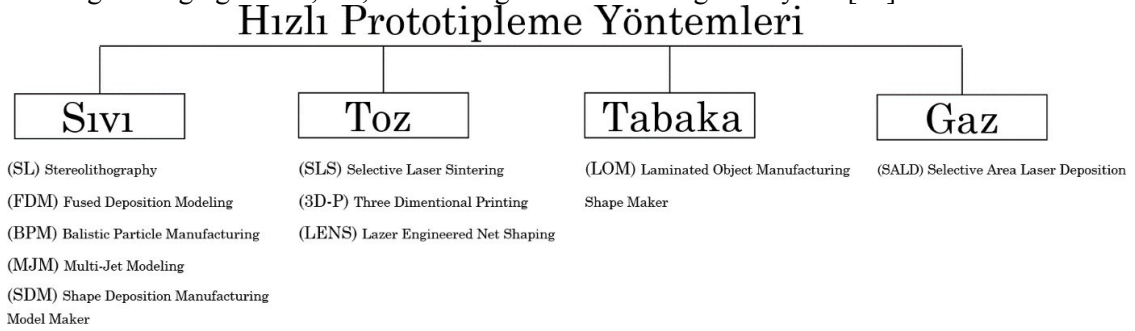
1882 yılında Felix Klein Möbius şeridini kendisine örnek olarak tek yüze sahip kapalı bir yüzey oluşturmuştur. Şekil 6.b’de gösterilen Klein şişesinin iç yüzeyi kendini kapsar bu nedenle bu şişeden su içilmesi mümkün değildir. Klein şişesi tıpkı bir küre gibi kapalı ve aslında sonludur. İçerisine bir karıncanın bırakıldığı düşünülürse karınca hiçbir sınır ile karşılaşmadan sonsuza kadar yürüyebilir. Bu yüzden sınırsız olarak algılanabilir. Klein şişesi, bir yüzeyin iki yanının birleştirilmesi ile oluşturulan silindirin, iç (yeşil kısım) ve dış (beyaz kısım) tarafının birleşeceği şekilde kendi içinden geçirilip geriye döndürülmesi ile oluşturulur [18]. Şekil 7’de Klein şişesinin elde edilmiş aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 7. Basit bir yüzeyden Klein şişesinin elde edilmesi aşamaları [18].

3. FDM TEKNOLOJİSİ

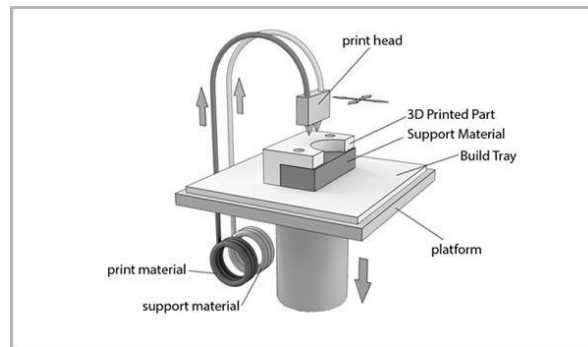
Hızlı prototipleme yöntemleri prototip üretiminde kullanılan malzemenin başlangıçtaki durumuna göre Şekil 8’de görüldüğü gibi sıvı, toz, tabaka ve gaz olarak 4 ana gruba ayrılır [19].



Şekil 8. Hızlı Prototiple Yöntemlerinin Malzeme Türüne Göre Sınıflandırılması.

Bu çalışma kapsamında kullanılan HP yöntemi olan FDM (Fused Deposition Modelling = Ergiyik Biriktirerek Modelleme) yöntemi; esnek yapısı, üstün teknik kabiliyetleri, ev ya da ofis ortamı gibi birçok farklı yerde kullanılabilmesi, sağladığı mekanik ve görsel özellikleri bakımından en yaygın kullanılan HP yöntemlerinin başında gelmektedir.

Bu proste bir plastik veya mum malzeme parçanın kesit geometrisini izleyen bir nozul içinden ekstrüzyon edilir. Model malzemesi ince plastik tel (filament) şeklindedir. Bazen filament yerine hazneden beslenen plastik granül de kullanılmaktadır. Nozul, termoplastığı ergime noktasının hemen üzerindeki bir sıcaklıkta tutmaya yarayan bir ısıtıcı eleman içerir ve böylece plastik kolayca nozul üzerinden akar ve bir katman oluşur. Plastik nozuldan aktıktan sonra aniden sertleşir ve aşağıdaki katmana yapışır. Bir katmanın yapımı tamamlandıktan sonra platform aşağıya iner ve ekstrüzyon nozulu diğer katmanı inşa eder. Katman kalınlığı ve düşey boyut hassasiyeti ekstrüzyon nozulunun çapına bağlıdır. Bu çap 0.1 mm ile 0.5 mm arasında değişir. XY düzleminde 0.025 mm çözünürlüğe ulaşılabilir.



Şekil 9. FDM tekniğinin temsili gösterimi [21].

Bu teknik ile çok parçalı, hareketli mekanizmaların ve karmaşık parçaların imalatı mümkündür. ABS, poliamid, polikarbonat, polietilen, polipropilen ve hassas döküm mum model malzemesi olarak kullanılabilir. Bu yöntemde model üretilirken destek malzemesi kullanılır ve modelden malzemesinden

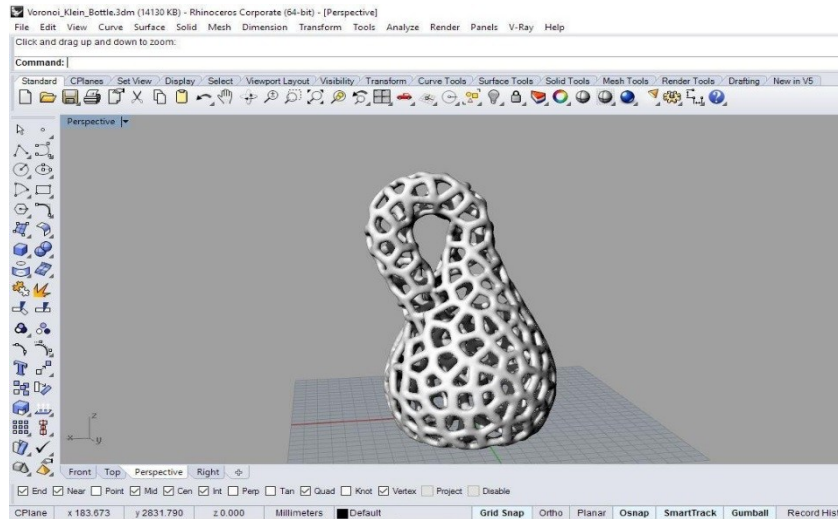
farklı bir destek malzemesi kullanabilmek amacıyla sisteme ikinci bir nozul ilave edilmelidir. Üretilen parçaların esnemeye, bükülmeye, kırılmaya ve uzamaya karşı yüksek dayanımı, suya ve neme karşı yüksek dirençleri, uygun maliyeti en belirgin özellikleridir. Fonksiyonel parçaların üretimi için uygundur [20].

Tablo 1. FDM yönteminin avantaj ve dezavantajları [22].

Avantajları	Dezavantajları
Geleneksel metotlarla imalatta gerekli olan makine, araç-gereç, teçhizat ve işçilik ihtiyacı büyük oranda ortadan kalkar.	Hız - Tek ekstrüzyon ünitesi ile yoğunluğu yüksek parça üretimi uzun zaman alır.
Tasarımın ürüne dönüşmesi için bilgisayar ortamında modellenip FDM cihazına yollanması ile dijital dosyalar somut ürünlere rahatlıkla dönüştürülür.	Yüzey kalitesi iyi değildir. (katman boyutu – 100 – 400 µm)
Geleneksel metotlarla üretilmesi zor ya da imkansız olan karmaşık yapılar, FDM teknolojisi ile üretilebilir.	Z yönünde parça daha zayıftır.
İşçilik, malzeme, takım ihtiyacını azalttığından maliyetleri düşürür.	Destek yapılar gerekir.
Düşük miktarda üretimler için hem hızlı hem de ekonomik olmasıyla oldukça üstündür.	Nozul kesiti dairesel olduğu için keskin dış köşelerin yapılması zordur, köşeler radyuslu olur.

4. KLEIN ŞİŞESİNİN FDM YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ

FDM yöntemi, endüstride düşük adetli üretimlerde, karmaşık geometri ürünlerin üretilmesinde, prototip ihtiyaçlarında başvurulan; ucuz, kaliteli, güvenilir, zahmetsiz bir hızlı prototipleme yöntemidir. Bu özelliklerinin yanı sıra ulaşılabilirliğinin kolay olması ve ev tipi yazıcılarda tercih edilen bir yöntem olmasından dolayı bu çalışmada FDM yöntemi tercih edilmiştir. Klein şişesinin FDM yöntemi ile üretilebilmesi için öncelikle bilgisayar ortamında modelleme işleminin gerçekleştirilip daha sonra baskıya hazırlanması gerekmektedir. Modelleme işlemi Rhinoceros isimli 3 boyutlu modelleme programında gerçekleştirilmiştir. Şişenin daha net anlaşılabilmesi için Şekil 10'da görüldüğü gibi modelin yüzeyine voronoi desenleri oluşturulmuştur.



Şekil 10. Rhinoceros Programında voronoi deseni giydirilmiş Klein şişesi tasarımı.

Parça üretimi için Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Stratasys firmasına ait Uprints FDM cihazı kullanılmıştır. Model malzemesi olarak fildişi ABSplus ve destek malzemesi ise çözünebilir SR-30 polimer kullanılmıştır. Katman kalınlığı 254 µm olarak

belirlenmiştir.



Şekil 11. Topolojik nesne basımında kullanılan ticari FDM 3B yazıcı makinesinin genel bir görünümü (Startasys Model: uPrint SE Plus) [23].

Tablo 2. Parça basımında kullanılan parametreler.

Model malzemesi	ABSplus (fildişi)
Destek malzemesi	SR-30 çözünebilir
Parça boyutu	30 x 30 x 60 mm
Katman kalınlığı	0.254 mm

Çözünebilir destek malzemesi sayesinde uPrint SE karmaşık modelleri ve hareketli montajları tek seferde üretebilmektedir. Su bazlı solüsyonu ile destek malzemesini çözerek temizlenmesine imkan sağlamaktadır [23].



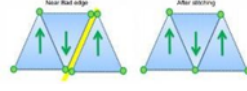

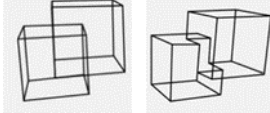


4.1. Stl Dosyasının Oluşturulması ve Hatalarının Düzeltilmesi

STL uzantısı, 3 boyutlu bir nesnenin düzenini açıklayan veriler içeren bir dosya formatıdır. STL dosyaları, 3 boyutlu objedeki yüzeyleri mantıksal dizi içerisinde çok sayıda üçgene bölerler. Her üçgen kendi normal ve üç noktayla temsil edilir. Bir “.stl dosyası” üçgenleri oluşturan noktaların XYZ koordinatlarını ve normallerini toplu olarak içerir. STL dosyaları objeleri meshlerle ifade etmektedir. Mesh üretme, fiziksel bir tanım aralığını daha küçük tanım aralıklarına (elemanlara) bölme işlemi olarak tanımlanabilir. Buradaki amaç çözümünü kolaylaştırmaktır. Modeli meshlemek, başlangıçta eleman seçiminin doğru yapılmasıyla birebir ilişkilidir. Yani eleman tipine göre mesh tarzı değişir. Mesh üretme konusunda kullanıcının, üzerinde mesh üretilecek alanda, hangi bölgelerin eleman yoğunluğunun fazla olacağına, hangi bölgelerin eleman yoğunluğunun daha az olacağına karar vermesi gerekebilir. Genellikle, önemli olduğu veya kendi içinde değişime sahip olduğu bilinen, tahmin edilebilen bölgelerde birim alana daha fazla eleman yerleştirilir [24]. Yani bir objedeki üçgenlerin sayısı arttıkça objedeki detay seviyesi artar. Bu sebeple kaliteli bir yüzey elde etmek için genellikle çok sayıda üçgene ve onların normallerine ihtiyaç vardır [24].

Diğer taraftan, stl formatı dönüşümü sırasında, özellikle önceki bölümlerde bahsedilen topolojik nesnelere gibi karmaşık modellerde problemler ortaya çıkabilmektedir. Stl dosyasında hatalar varsa slice (slice) ye dönüşümünde ve dolayısıyla son üründe hatalar oluşur. Hatalı üretim ise orijinal CAD geometrisinin doğru çoğaltılmasını önlemesinin yanında zaman ve para israfıdır. Bu yüzden modelin başarılı bir şekilde basılabilmesi için stl dosyasının doğruluğunun kontrol edilmesi ve dosya hataları olmadığından emin olmak gerekmektedir.

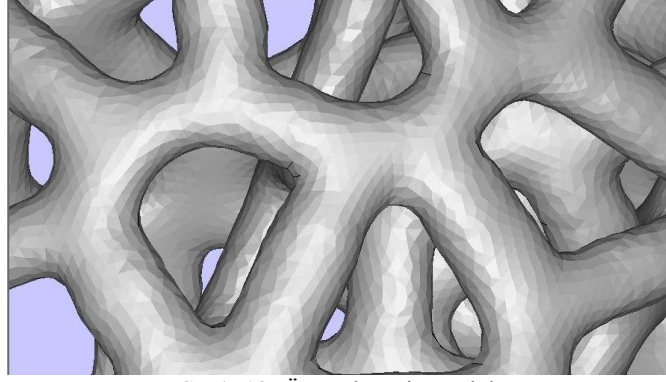
Tablo 3. Yaygın stl dosya hata tipleri [25].

Dosya Hata Tipi	Tanım	Açıklama
<i>Tersine çevrilmiş normaller (Inverted Normals)</i>	STL dosyasındaki üçgenlerin normal vektörleri modelin dış tarafını temsil eder. ‘Inverted normal’ hatası stl’deki üçgenlerin iç tarafı göstermesi durumudur. Magics’de modelin iç kısmı kırmızı	<p>Örnek bir küp modelde iç yüzey kırmızı, [26]</p>

	dış kısmı gri renktedir. Modelde kırmızı üçgen varsa bu hatanın olduğunu gösterir.	dış yüzey mavi gösterilmektedir. Buna göre soldaki şekilde tüm normal vektörler olması gerektiği gibi dış yüzeyi gösterirken, sağdaki modelde bir üçgenin normal vektörü hatalı olarak iç yüzeyi göstermektedir.
<i>Bozuk Kenarlar (Bad Edges)</i>	STL dosyasındaki üçgenlerin her bir kenarı kendisine komşu olan kenara doğru bir şekilde bağlı olması gerekmektedir. Eğer aralarındaki bağlantıda problem varsa bu durum bad edges yani bozuk kenarlar olarak isimlendirilir. Bu hata Magics programında sarı çizgi ile gösterilmektedir.	 [26] Yukardaki şekilde mavi ve sarı üçgene ait komşu kenarlar birbirine bağlı olması gerekirken aralarında boşluk bulunmaktadır. Bu durum bozuk kenarlar hatasına bir örnektir.
<i>Hatalı Hatlar (Bad Contours)</i>	Birden fazla bozuk kenar bir araya gelerek hatalı hat (bad contour) oluşturur.	 [27] Soldaki şekilde sarı çizgi ile belirtilen kenar bozuk kenardır. Sağdaki şekilde ise bozuk kenarlar bir araya geldiği için hatalı bir hat oluşmuştur.
<i>Hatalı kenarlar yakını (Near Bad Edges)</i>	Bağlantı problemi olan iki yüzeyin neden olduğu hatadır. Programda sarı uzun çizgi ile belirtilmektedir.	 [26] Soldaki şekilde hatanın temsili gösterimi bulunmaktadır. Magics programında 'stitching' işlemi ile problem giderilmektedir. Sağdaki şekil stitching işlemi sonrasında göstermektedir.
<i>Düzlemsel Delikler (Planar Holes)</i>	Üçgenlenmiş modelde bazı üçgenlerin eksikliğinden kaynaklanan hatadır. Delik doldurma aracı ile üçgenler oluşturularak bu hata giderilebilir.	 [29] Yukardaki şekilde kırmızı olan bölüm düzlemsel deliktir. Delik doldurma aracı kullanılması gerekmektedir.
<i>Parazit kabuklar (Noise Shells)</i>	.stl dosyasının hatasız bir şekilde üretime verilebilmesi için her parça tek kabuk içermelidir. Parazit kabuklar (noise shells) gerekli olmayan kabuklardır ve dosyadan ayrılması gerekir.	 [27] Parazit kabuklara örnek olarak solda çakışan kabuklar, sağda birleşik kabuklar gösterilmiştir. Kabuğun gerekli olup olmadığı kontrol edilerek kaldırılması gerekmektedir. Hatanın giderilmesi için Boolean işlemi de gerçekleştirilebilir.
<i>Çakışan Üçgenler (Overlapping Triangles)</i>	İki üçgen arası mesafenin model toleransından küçük olması, ya da üçgenlerin normalleri arasındaki açının model toleransından daha küçük olması durumunda iki üçgenin çakıştığı kabul edilmektedir.	 [28] Yukarıdaki şekilde çakışan üçgenlerin temsili gösterimi görülmektedir. Bu hatanın giderilmesi için Magics'de stitch işlemi uygulanabilir ya da model için gereksizse üçgenlerden biri silinebilir.
<i>Kesişen Üçgenler (Intersecting Triangles)</i>	Kenarları birleşmemiş ve birbirini kesen üçgenlerin oluşturduğu hatadır. Bu hata., stl dosyasının	 [26]

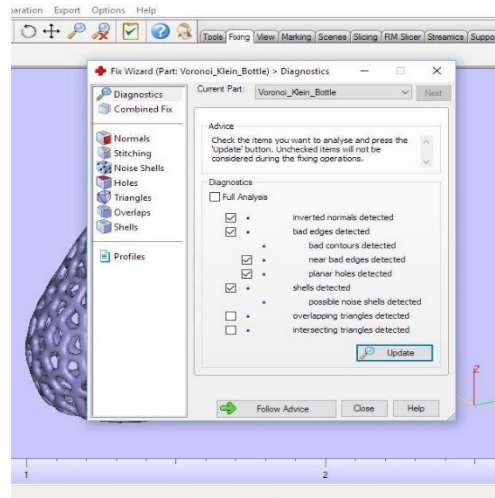
	bütünlüğünü bozar.	Şekilde sarı ve mavi üçgenin kenarları birbirleri ile birleşmemiş olup birbirini kesmektedir. Bu üçgenlerin yeniden birleştirilmesi hatayı ortadan kaldırır.
--	--------------------	--

Bu çalışmada, model STL formatına dönüştürülmüş ve *Materialise* firmasına ait Magics 21 programı kullanılarak hata kontrolü yapılmış olup gerekli düzenlemeler gerçekleştirilmiştir. Magics programında oluşturulan mesh görüntüsü Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Üçgenlenmiş model.

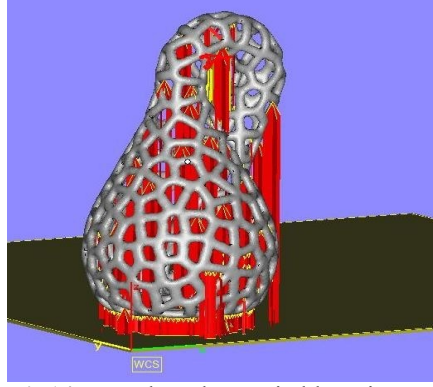
Üretilen parçanın stl dosyası Tablo -3 ‘te verilen tüm hata tiplerine göre Magics programında kontrol edilmiştir. Programda üçgenlenmiş görüntüde her bir üçgen gri ya da kırmızı renkte tanımlanır (hatasız bir parçada dış yüzey gri olmalıdır). Üretilen parça bu hataların tamamından arındırılmış ve son haliyle hiçbir hata bulunmadığı Şekil-13’te ortaya konulan verilerde görülmektedir.



Şekil 13. Parçadaki hataların tespiti.

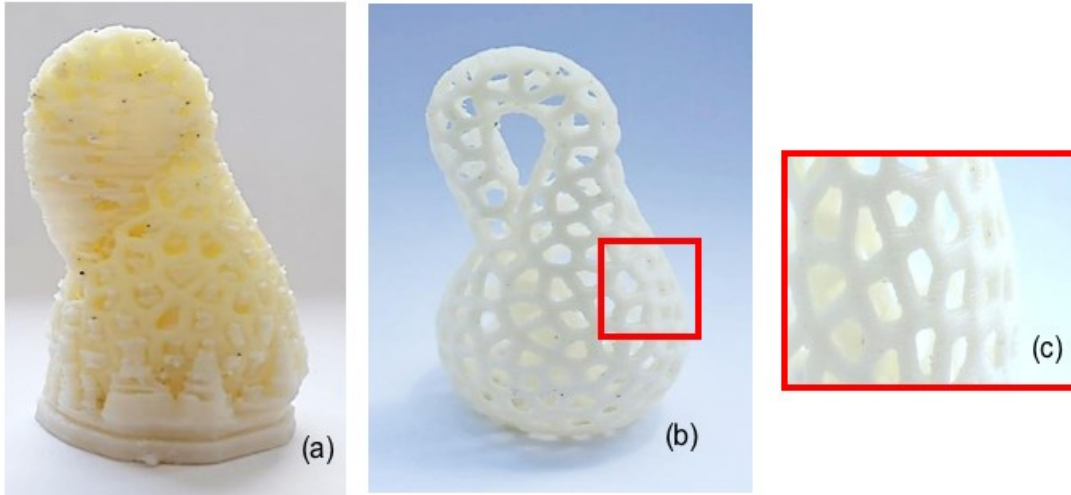
4.2 Destek Yapıların Oluşturulması ve 3D Baskı İşlemi

Parça hatalardan arındırıldıktan sonraki adım destek yapılarının oluşturulması işlemidir. Tüm Katmalı imalat sistemlerinde çıkıntılar, iç boşluk ve ince-duvarlı kesitler gibi hassas detaylar destek gerektirir. Böylece bağımsız ve kopuk detaylar katman katman üretim esnasında desteklenerek parçanın tüm detayları aşağıdan yukarı kesintisiz üretilir.



Şekil 14. Destek malzemesi eklenmiş model.

Destekler tek ekstrüzyon kafalı sistemlerde model malzemesinden örülürken, iki kafalı sistemlerde ikincil bir malzemeden yapılabilir. Model ile aynı malzemeden yapılan desteklerin tasarım ve konumlandırılması tekrar ayrılabilir şekilde olmalıdır. Örneğin sıcaklık kontrolü, ekstrüzyon uzaklık mesafesi ayarları gibi mekanizmalar destek parça kırılma kolaylığı sağlar. Sıcaklık kontrolünde model ve destek ara yüzeyinde sıcaklık farkı ile çatlama yüzeyi elde edilebilir. Bu çatlama yüzeyi destekleri parçadan ayırmak için kullanılabilir. Bunun için parça üzerine destek veya tersi (destek üzerine parça) ekleme durumunda ekstrüzyon uzaklık mesafesi artırılabilir, ya da destek parçası çıkartırken hazne yada ekstrüzyon sıcaklığı azaltılabilir. Ancak buna rağmen destek parça ayrılması zor olmaktadır.



Şekil 15. 3B yazıcıdan çıkmış haliyle (destek yapıları ile birlikte) Klein Şişesi (a) destek yapıları çözülmüş Klein Şişesi (b) Yüzey kalitesi (c)

Destekleri ayırmak için en uygun metod farklı destek malzemesi kullanmaktır. Malzeme özelliklerindeki farklılıklar (destek malzemesinin model malzemesine göre daha zayıf/kırılgan seçilmesi) destekleri ayırmak için kullanılır ya da kimyasal olarak çözünebilir destek malzemesi seçilerek parça malzemesini etkilemeden destek malzemesi uzaklaştırılabilir.

Bu kapsamda Magics programında destek ve katman yapıları ilgili modüller aktif edilerek oluşturulmuştur. Baskıya hazırlığı tamamlanan model FDM yöntemi ile üretilebilmesi için 3B baskı makinesinde üretilmiştir. 3B baskı makinesinden destek yapıları ile birlikte çıkan Klein şişesi Şekil-15a 'da görülmektedir. Destek yapılarının çözülmesi için bir kimyasal içerisinde bekletilen modelin son hali Şekil-15b'de görülmektedir. Şekil 15.c'de görüldüğü üzere modelin yüzey kalitesi iyi olmayıp, ek işlem gerektirmektedir. Aseton, ABS parçalara uygulanacak ek işlemler için iyi bir tercihtir. Barari (2014) ve Garg ve diğerleri (2016) ABS parçaların asetone ile kimyasal işleminden geçirilmesinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur[30-32].

5. SONUÇ

Bu çalışmada giriş kısmında matematik biliminin 3B baskı teknolojisine nasıl katkı sağlayabileceğinden bahsedilmiş, 3B baskı teknolojisini kullanan matematikçilerden ve üretilen modellerden örnekler verilmiştir. Devamında Topoloji kavramı ve FDM teknolojisi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Topolojik nesnelerin 3B baskı teknolojisi ile üretimine örnek olması açısından Topoloji başlığı altında açıklaması verilen Klein şişesinin üretimi FDM yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. 3 Boyutlu model oluşturmak için Rhinoceros, hataların onarımı ve baskıya hazırlık için Magics programı kullanılmıştır. Magics programında baskıya hazırlık aşamasında karşılaşılabilecek yaygın hatalar ve bu hataların çözümleri hakkında bilgi verilmiştir. Klein şişesinin cam kullanılarak üretimi yapılabilirken diğer topolojik nesnelerin üretimi sadece hızlı prototipleme ile mümkündür. Özellikle FDM teknolojisinin günümüzde bilinirliğinin artması ve eğitim alanında kullanımı ile matematiksel modeller, matematiğin daha anlaşılır kılınmasını sağlayacaktır. Bu çalışma Topoloji Bilimini ve 3B Baskı Teknolojisini bir arada inceleyen ilk çalışma olduğu için kendinden sonra gelecek akademik çalışmalara örnek olacak niteliktedir.

REFERANSLAR

- [1] <http://hlavolam.maweb.eu/three-dimensions-too-many-or-too-little> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [2] “Boyut”, Güncel Türkçe Sözlük, Türk Dil Kurumu http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5a9c0d148c58d4.82545069 Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [3] <http://mathforum.org/mathimages/index.php/Tesseract> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [4] <http://zacharydillon.net/3d-shadows/> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [5] <https://bathsheba.com/math/borromean> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [6] <https://bathsheba.com/math/120cell/> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [7] <https://bathsheba.com/math/gyroid> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [8] <https://bathsheba.com/math/> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [9] Hart G., Creating a Mathematical Museum on Your Desk *Mathematical Intelligencer*, 27, No 4, Winter, 2005
- [10] <http://www.georgehart.com/rp/10-3.html> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [11] <http://www.georgehart.com/rp/chiral-2-layer-sphere.html> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018 [12] <http://www.georgehart.com/rp/rp.html>] Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [13] <http://www.georgehart.com/rp/rp.html> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [14] <http://www.3dprintmath.com/about> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [15] <https://www.shapeways.com/shops/henryseg> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [16] Prof. Dr. İsmet KARACA Topoloji Ders Notları, Ege Üniversitesi, 2013
- [17] <http://www.map.mpim-bonn.mpg.de/2-manifolds> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [18] <https://plus.maths.org/content/os/issue26/features/mathart/index> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [19] Shahrabi M., Javadi M., Selection of Rapid Prototyping Process Using Combined AHP and TOPSIS Methodology, *International Journal of Information Science and System*, 2014, 3(1): 15-22 ISSN: 2168-5754

- [20] Çelik, İ.,Karakoç, F.,Çakır,M.C., Duysak, A., Hızlı Prototipleme Teknolojileri Ve Uygulama Alanları, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü Dergisi, 2013
- [21] <https://www.dddrop.com/fdm-technology/> Son Erişim Tarihi: 02.03.2018
- [22] Durgun,İ.,Başaran, D. FDM Katmanlı Üretim Teknolojisinin Araç Geliştirme Sürecindeki Uygulamaları, 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 2010, BURSA
- [23] <http://www.stratasys.com/3d-printers/idea-series/uprint-se-plus> Son Erişim Tarihi: 01.03.2018
- [24] İpek S, Doğru Mesh Üretiminin Çözüm Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011, s11-13
- [25] Yrd. Doç. Dr. H.Kürşad SEZER, Hızlı Prototipleme ve Tersine Mühendislik Ders Notları, Gazi Üniversitesi, 2017
- [26] <http://www.meccanismocomplesso.org/en/check-stl-files-3d-printing/> Son Erişim Tarihi: 05.03.2018
- [27] <http://www.materialise.com/en/blog/10-basic-3d-model-repair-functions-every-data-prepper-should-know- part-1> Son Erişim Tarihi: 05.03.2018
- [28] <https://cloud.materialise.com/tools/model-repair> Son Erişim Tarihi: 05.03.2018
- [29] http://www.carima.com/wp-content/uploads/2017/04/Magicsforcarima_User_Guide_en.pdf Son Erişim Tarihi: 05.03.2018
- [30] Lalehpour, A., Barari,A., Post processing for Fused Deposition Modeling Parts with Acetone Vapour Bath, IFAC-PapersOnLine 49-31, 2016
- [31] Garg, A., Bhattacharya, A. and Batish, A. ,On Surface Finish and Dimensional Accuracy of FDM Parts after Cold Vapor Treatment. Materials and Manufacturing Processes, volume (31), 522–529, 2016
- [32] Barari, A., Optimized Vapor Treatment Operation for Fused Deposition Modeling Process to Improve Surface Quality. Society of Manufacturing Engineering, The Authority on 3D Printing, Scanning and Additive Manufacturing, JUNE 9-12, 2014, Cobo Center, Detroit, MI., 2014